

Memoria justificativa del Proyecto de Innovación Docente
MEJORA DE LAS COMPETENCIAS EN INGENIERÍA DE
FLUIDOS MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE APLICACIONES
DE SIMULACIÓN CFD (Ref ID2018/134)

Resumen:

El presente proyecto de innovación docente se ha desarrollado con el objetivo de diseñar una metodología que permita instruir al alumnado en un manejo básico de un software CFD a la vez que dicha actividad le sirve para consolidar los conocimientos adquiridos en clase teórica y en las prácticas de laboratorio, especialmente aquellos concernientes al comportamiento de los fluidos a presión por conductos, concretos muchas veces complejos y de difícil comprensión para el alumnado. La dificultad radicaba en el poco tiempo disponible para la realización de estas prácticas, problema al que hay que sumar la dificultad de manejo inherente a este tipo de software. Es por ello que, partiendo de un estudio de requerimientos y un diagnóstico de la situación, se eligió el software más adecuado y se diseñó la actividad de tal manera que pudiera implementarse en el aula en un tiempo no superior a 4 horas, a fin de no interferir con el resto de las actividades formativas de asignaturas relacionadas con contenidos abstractos y complejos como son Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas.

1. Introducción:

Las herramientas CFD (Computational Fluid-Dynamics) son de alta aplicación en la industria y tienen el inconveniente de ser complejas de utilizar y, sobre todo aquellas comerciales, de difícil acceso para las instituciones académicas. Con el presente proyecto se ha pretendido eliminar esta barrera mediante un estudio global de las alternativas disponibles en el mercado. A tal efecto se ha propuesto a la universidad la adquisición del software Solidworks®, puesto que el fácil manejo del módulo CFD permite realizar prácticas con el software sin necesidad de largos tiempos de preparación.

En el presente proyecto se han pretendido generar nuevas actividades basadas en software CFD que permitan la mejora de las competencias en materia de ingeniería de fluidos y máquinas hidráulicas. Las actividades han sido diseñadas en su totalidad como una propuesta metodológica que ha sido implementada en el aula y cuyos resultados han sido medidos utilizando cuestionarios.

2. Ejecución del proyecto:

El plan de trabajo, siguiendo lo programado, se ha realizado con arreglo a las distintas fases temporizadas del proyecto durante el curso 2018-19 pero cuyas conclusiones servirán de retroalimentación para los cursos sucesivos.

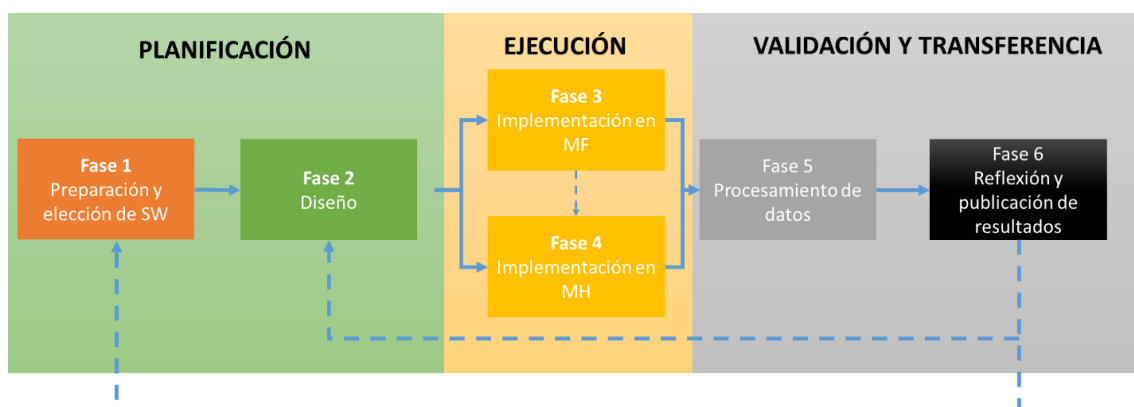


Figura 1: Fases del proyecto y retroalimentación entre las mismas.

2.1. Preparación y elección de software de simulación

En esta fase se desarrollaron dos tareas principales. La primera fue una investigación bibliográfica para determinar el estado de la técnica y conocer iniciativas similares que se hubieran publicado recientemente. En segundo lugar, se realizó un estudio de viabilidad software para elegir la mejor herramienta CFD que cumpliera con los requisitos establecidos en el proyecto de entre las disponibles en el mercado con potencial acceso a ellas.

2.1.1. Investigación bibliográfica previa: estado del arte

Al inicio del periodo de ejecución del proyecto, se realizó un estudio bibliográfico profundo sobre las iniciativas orientadas a la adquisición de competencias en materia de simulación de fluidos existentes en la literatura. Investigación sobre las prácticas similares implementadas en universidades e instituciones de reconocido prestigio y criterios seguidos para el diseño metodológico de actividades basadas en nuevas tecnologías. En resumen, se pueden indicar que los trabajos referencia más relevantes de cara al objetivo del proyecto fueron los siguientes:

- Kayode. 2007. Ludwig's Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants (4th ed.). Gulf Professional Publishing. ISBN: 9780080469706
- B S Massey. 1970. Mechanics of fluids (7th. ed.), Van Nostrand Reinhold, London, UK. ISBN-10: 0748740430.
- CT Chen, WL Tan. 2012. Mathematical modeling, optimal design and control of an SCR reactor for NOx removal. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 43(3) (May 2012), 409–419. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2011.11.006>
- D Vergara, M Rodríguez-Martín, MP Rubio, J Ferrar, J Nuñez, L Moralejo. 2018. Formación de personal técnico en ensayos no destructivos por ultrasonidos mediante realidad virtual. DYNA Ingeniería e industria, 93, 2 (March 2018), 150-154, DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8444>
- F Moukalled, L Mangeni, M Darwish. 2015. The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics. Springer. ISBN 978-3-319-16873-9
- F. Boukouvala, MG Ierapetritou. 2014. Derivative-free optimization for expensive constrained problems using a novel expected improvement objective function. AIChE Journal, 60 (March 2014), 2462–2474. DOI: <https://doi.org/10.1002/aic.14442>

- H Pan, XZ Chen, XF Liang, LT Zhu, ZH Luo. 2016. CFD simulations of gas–liquid–solid flow in fluidized bed reactors— a review. *Powder Technol*, 299 (October 2016), 235–258. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.05.024>
- J A Rabi, RB Cordeiro, AL Oliveira. 2009. Introducing natural convective chilling to food engineering undergraduate freshmen: Case studies assisted by CFD simulation and field visualization, *Computer Application in Engineering Education* 17 (1) (September 2008), 34–43. DOI: <https://doi.org/10.1002/cae.20161>
- M Rodríguez-Martín, P Rodríguez-Gonzálvez . Learning based on 3D photogrammetry models to evaluate the competences in visual testing of welds. 2018. EDUCON2018 – IEEE Global Engineering Education Conference 17-20 April 2018. Gran Canaria (Spain). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363422>
- M Rodríguez-Martín, P Rodríguez-Gonzálvez. 2019 Materiales formativos 3D desde ingeniería inversa para el aprendizaje de la inspección de soldaduras. *DYNA Ingeniería e industria*, 94, 3 (June 2019), 150-154. <http://dx.doi.org/10.6036/8798>
- OT Kajero, RB Thorpe, T Chen, B Wang, Y Yao, Y. 2016. Krigingmeta-model assisted calibration of computational fluid dynamics models. *AIChE Journal*, 62 (June 2016), 4308–4320. DOI: <https://doi.org/10.1002/aic.15352>
- OT Kajero, RB Thorpe, Y Yao, DS Hill Wong, T Chen. 2017. Meta-model-based calibration and sensitivity studies of computational fluid dynamics simulation of jet pumps. *Chemical Engineering & Technology*, 40 (9) (May 2017). 1674-1684. DOI: <https://doi.org/10.1002/ceat.201600477>
- P Kumar, M Ming Bing. 2011. A CFD study of low pressure wet gas metering using slotted orifice meters, *Flow Measurement and Instrumentation* 22 (March 2011), 33–42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2010.12.002>
- P Kumar, R Ganesan. 2016. CFD modeling for the estimation of pressure loss coefficients of pipe fittings: An undergraduate project. *Computer Application in Engineering Education*, 24 (2) (March 2016), 180-185. DOI: <https://doi.org/10.1002/cae.21695>
- P Rodríguez-Gonzálvez, M Rodríguez-Martín, B Alonso-Cortés, I Alvear-Órdenes. 3D Visualization Techniques in Health Science Learning. Application case of Thermographic Images to Blood Flow Monitoring. 2018. TEEM'2018-

- Sixth Edition Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality 24-26 October 2018. Salamanca (Spain). <http://dx.doi.org/10.1145/3284179.3284243>
- S Aradag, K Cohen, CA Seaver, T Mclaughlin. 2010. Integration of computations and experiments for flow control research with undergraduate students, Computer Application in Engineering Education 18 (November 2010), 727–735. DOI: <https://doi.org/10.1002/cae.20278>
 - T Pujol, L Montoro, Pelegri, JR Gonzalez. 2013. Learning Hydraulic Turbomachinery with Computational Fluid Dynamics (CFD) codes, Computer Application in Engineering Education, 21(4) (December 2013), 684–690. DOI: <https://doi.org/10.1002/cae.20513>
 - YA Çengel, JM Cimbala. 2004. Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications (4th ed.) McGraw-Hill Education. ISBN-10: 1259921905
 - YC Chen, CT Chen. 2014. Mathematical modeling and optimal design of an MOCVD reactor for GaAs film growth. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers,. 45(1) (January 2014), 254–267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2013.05.022>
 - YC Chuang, CT Chen, C Hwang. 2016. A simple and efficient real-coded genetic algorithm for constrained optimization. Appl. Soft Computing, 38 (January 2016), 87–105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.09.036>
 - YY Loy, GP Rangaiah, S Lakshminarayanan. 2017. Surrogate modelling for enhancing consequence analysis based on computational fluid dynamics. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 48 (July 2017),173–185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.04.027>
 - La redacción del estado del arte se está redactando de manera pormenorizada para la publicación de los artículos indicado en el plan de difusión.

2.1.2. Estudio de viabilidad software

Una vez analizado el estado del arte, se torna como prioritario elegir la herramienta CFD más adecuada de entre aquellas a las que se tendría potencial acceso¹. Primeramente, se estudiaron los requerimientos para la elección del software más adecuado dentro de los recursos existentes en el Departamento de Ingeniería Mecánica, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial y en base a software libre o versiones de estudiantes de software comerciales. El estudio de requerimientos se realizará haciendo balance entre los siguientes criterios (Fig. 2):

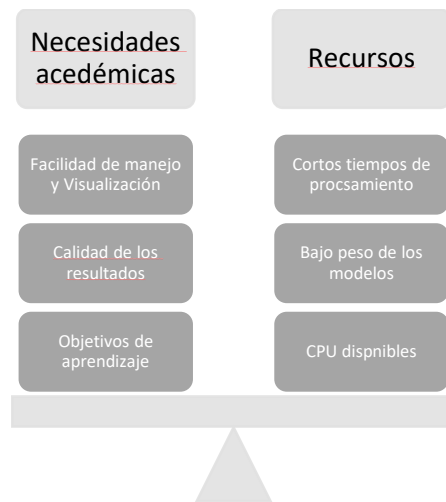


Figura 2: Balance entre necesidades académicas y recursos para el diseño de la actividad.

1. Facilidad de manejo: es conocido que las herramientas tanto Open Source como comerciales orientadas a la simulación con fluidos son de manejo complejo. Prueba de ello es la existencia de postgrados para ingenieros únicamente dedicados a la formación en esta materia (e.g. Máster en Mecánica de Fluidos Computacional de la Universidad Romeva i Virgill o Máster en Simulación con Elementos Finitos de la Universidad Politécnica de Madrid). A tal efecto, se buscaron alternativas de software con interface lo menos complejas posibles, a fin de evitar emplear tiempos excesivos en la

¹ Huelga decir que los softwares CFD comerciales usualmente tienen costes muy altos y precisan de ordenadores de muy altas prestaciones para funcionar. Muchos tienen versiones educativas pero estas suelen estar limitadas (como ANSYS: <https://www.ansys.com/>) en número de nodos o por otros criterios. A su vez, los softwares CFD gratuitos, como OPENFoam (<https://www.openfoam.com/>) son complejos de manejar y su uso sería inabarcable a tenor de los tiempos que se manejan en esta actividad.

instrucción del alumnado, dado que las actividades se van a integrar dentro de las asignaturas y hay poco margen de tiempo.

2. Posibilidad de visualización gráfica de resultados: este criterio hace referencia a la necesidad de encontrar una solución que grafique de manera visual e intuitiva los resultados del proceso de cálculo, dado que una visualización intuitiva y completa facilitará la asimilación de los conceptos mejor que resultados puramente numéricos.
3. Orientación generalista: existen herramientas muy específicas para la simulación de fluidos en diferentes situaciones (cálculo de conducciones, aerodinámica, etc.) pero existen también aplicaciones generalistas de diseño mecánico que integran módulos de análisis de fluidos. Estas herramientas suelen ser más sencillas de manejar y puede que los alumnos se encuentren ya familiarizados con ellas por haber sido utilizadas para otros fines en asignaturas que ya han cursado y la manera de generar la geometría con CAD suele ser más sencilla que en software específicos de simulación.
4. Posibilidad de integración del software en las aulas de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Béjar para que quede equipada con ello y se puedan realizar a partir de este proyecto en ella actividades propias de los laboratorios de simulación. Para ello se realizó una consulta previa a los servicios de Aulas para tener información sobre los datos técnicos de los equipos instalados en las aulas y dicha información fue considerada para la elección del software.

Con todo ello se decidió utilizar el software Solidworks ® de la empresa Dassault Systemes, específicamente el módulo Flow-Simulation. Para ello se realizó una propuesta de compra dentro del Programa de Ayudas para la Convocatoria de Adquisición de Software para las aulas de la Universidad de Salamanca. Dicha propuesta fue aprobada favorablemente y se procedió a la adquisición y posterior instalación del programa y de sus diferentes módulos dentro del aula de informática de la ETSII de Béjar.

2.2. Diseño de las actividades formativas, de los métodos de evaluación y de los instrumentos de medida del rendimiento e impacto de la actividad

Una vez elegido el software y realizada la investigación bibliográfica, se procedió a diseñar las actividades docentes a implementar en las prácticas de simulación.

Dichas actividades estarán orientadas primeramente a familiarizar al alumno con la interface de la aplicación elegida para posteriormente explicar una serie de casos prácticos a simular con el software que estén relacionados con lo explicado en las clases teóricas, en lo que se refiere para las asignaturas de Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. En esta fase se desarrollaron los materiales documentales a entregar a al alumno y se llevó a cabo una profunda reflexión para obtener una planificaron las sesiones en base al número de grupos necesarios y que cumpliera los criterios establecidos para la actividad. Dicha secuenciación es indiada en la figura 3.

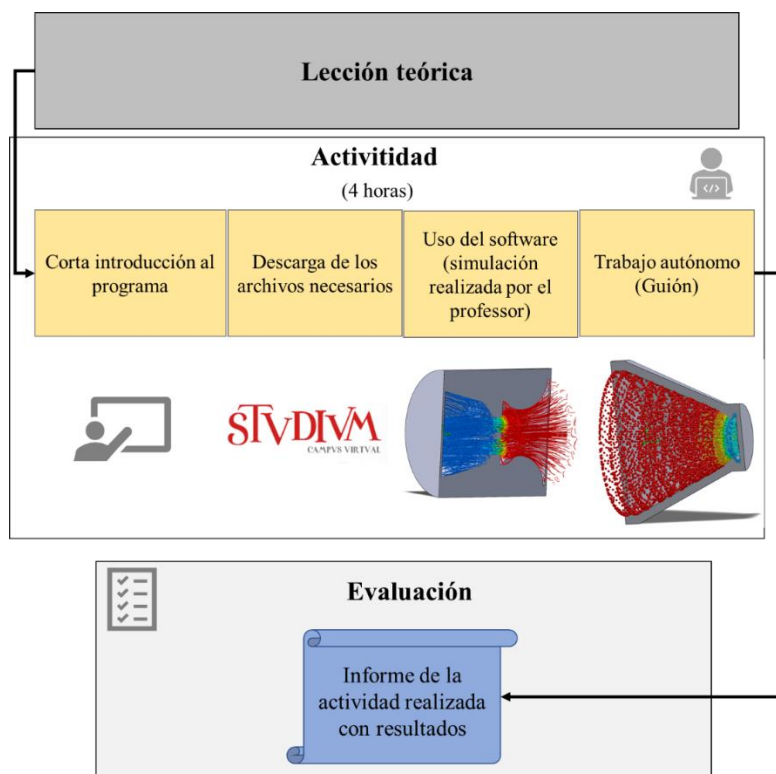


Figura 3: Diagrama de flujo de la actividad.

Se diseñó un guion de la actividad con un caso de estudio de una tobera obstruida. Dichos modelos fueron diseñados por los profesores de la asignatura y cargados en Studium para que el alumno pudiera descargarlo en el aula y realizar la práctica correspondiente.

El proceso de los diseños de los modelos fue complejo, debido a la necesidad de que la simulación no fuera excesivamente complicada, no atesorara un excesivo coste computacional que haría desperdiciar tiempo en la práctica, mientras que, a su vez, la práctica debía ser sencilla, posibilitar una fácil visualización de resultados y ser reproducible por los alumnos de manera autónoma para llegar a unas conclusiones científicas desde la aplicación de la simulación CFD. Para obtener los modelos finales se diseñaron y simularon diferentes modelos previos que fueron descartados por no cumplir las condiciones indicadas anteriormente.

A tal fin se diseñó una actividad de simulación en la que los alumnos, previa formación y realización dirigida por el profesor de un caso similar, debían simular una tobera lisa (Fig. 4) y una tobera obstruida (Fig. 5-8) para obtener sus principales parámetros fluido-dinámicos y realizar una comparación de los mismos y de los resultados que se obtendrían mediante las ecuaciones teóricas utilizadas en clase. El análisis de los resultados se realizó en base a resultados visuales como son aquellos obtenidos a partir de los cup plots (Fig. 4-6) y los estudios dinámicos de partículas (Fig.7-8) y también a resultados numéricos generados para las superficies de estudio y exportables en formato .xml (Fig. 9).

Para la asignatura de Máquinas Hidráulicas se diseñó una práctica de estudio siguiendo la misma secuencia que para la práctica de la tobera.

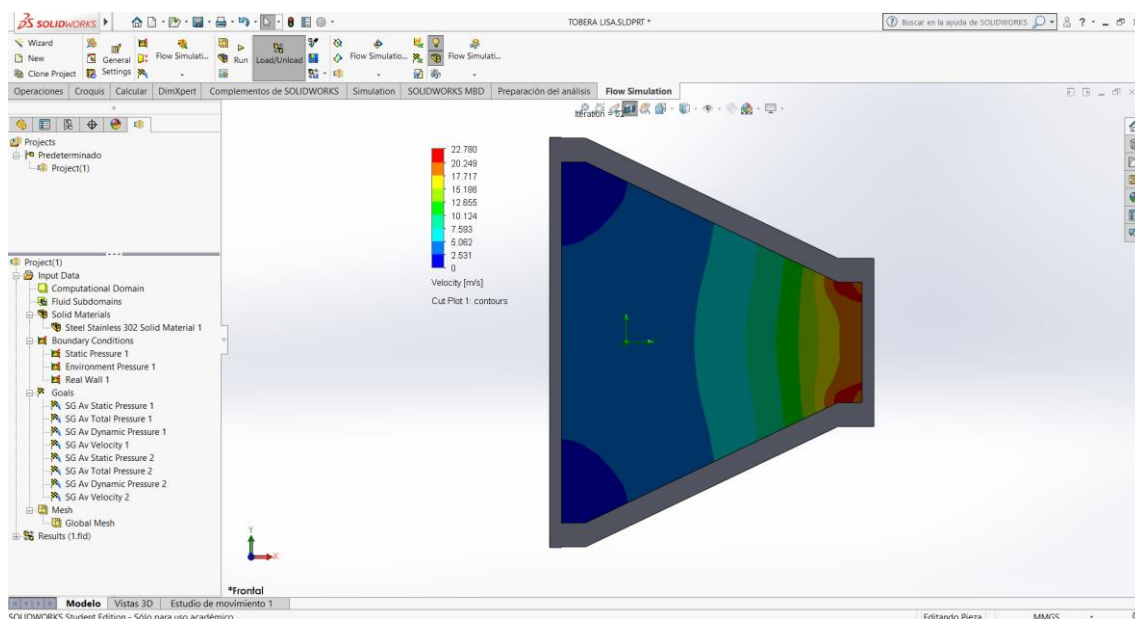


Figura 4: Distribución de la velocidad en la tobera lisa vista en un cut plot generado.

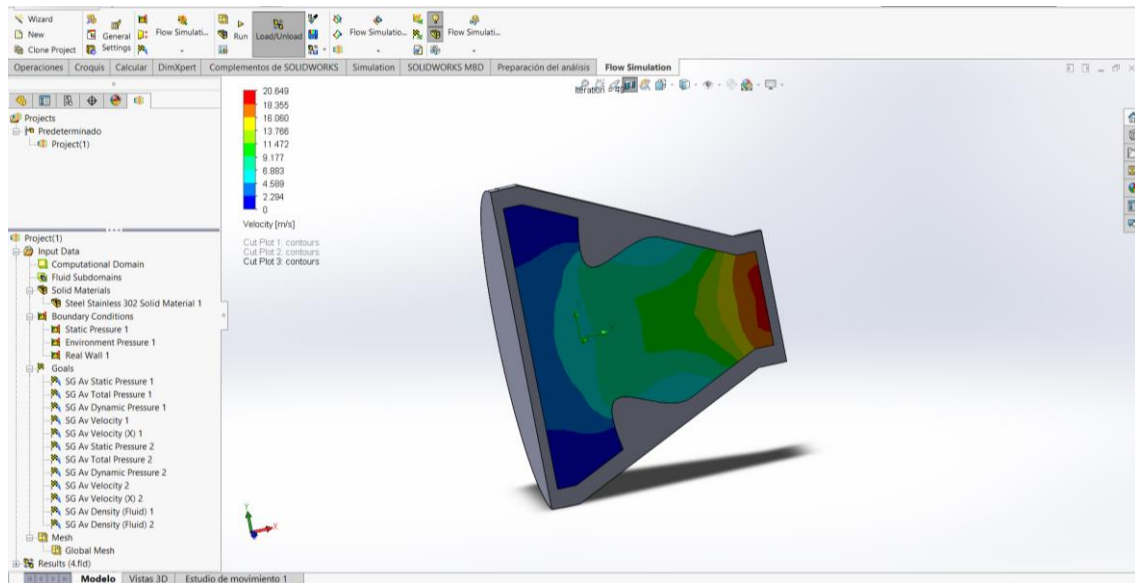


Figura 5: Distribución de la velocidad en la tobera obstruida vista en un cut plot generado. El alumno debe apreciar la diferencia en el campo de presiones, principalmente a partir de la zona de la obstrucción.

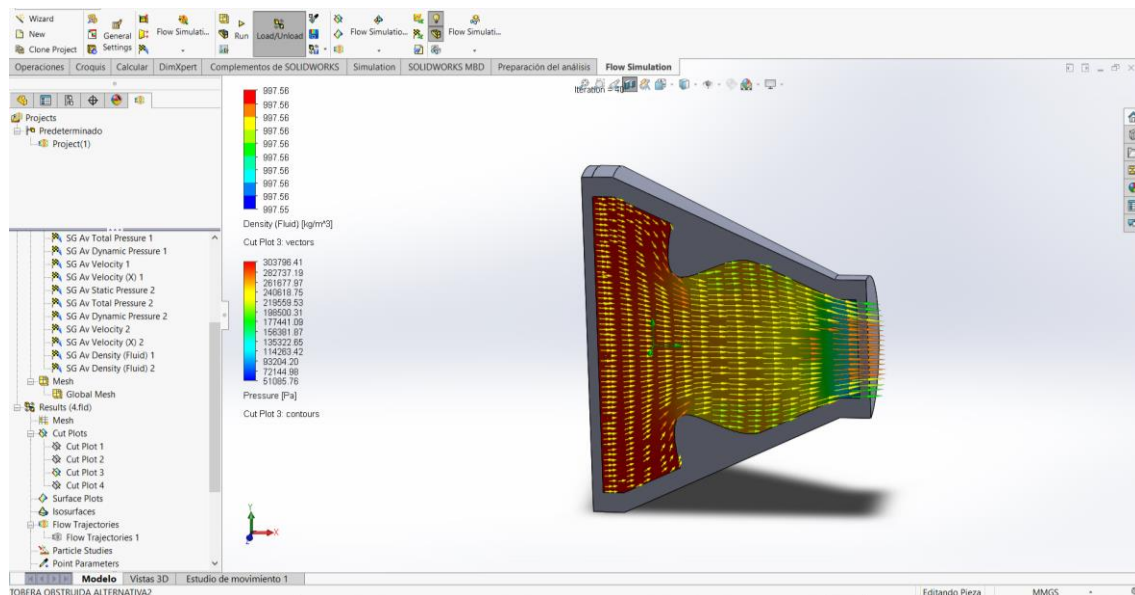


Figura 6: Distribución de la presión en la tobera bostruida vista en un cut plot generado y añadiendo un campo de vectores de velocidad.

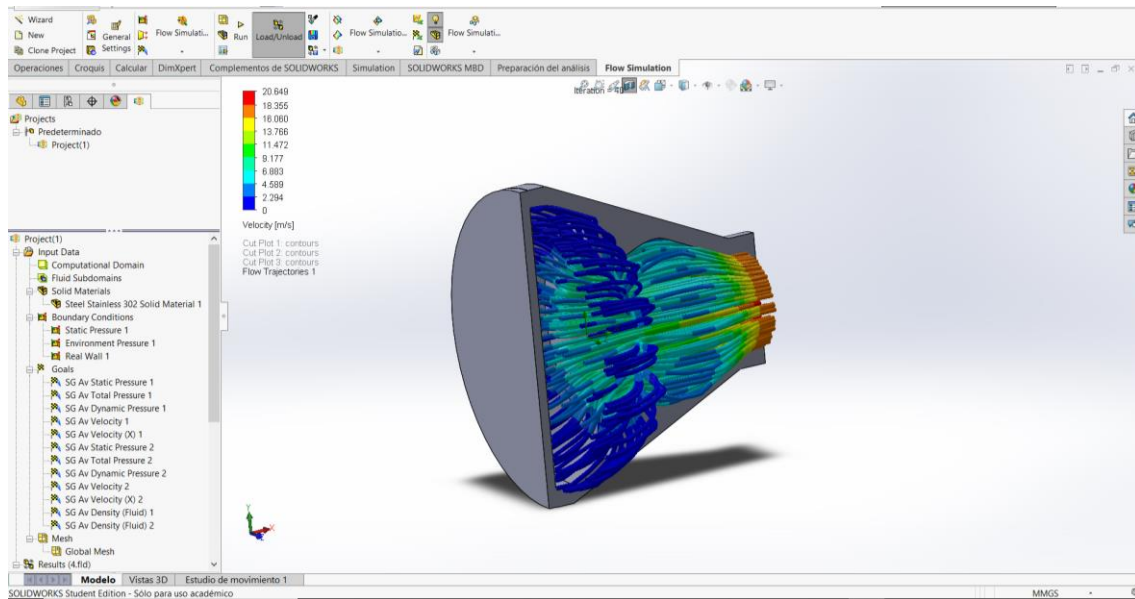


Figura 7: Simulación de partículas en forma de tuberías para analizar las trayectorias de flujo del fluido. A su vez, se han combinado las tuberías con un campo escalar de velocidades (color).

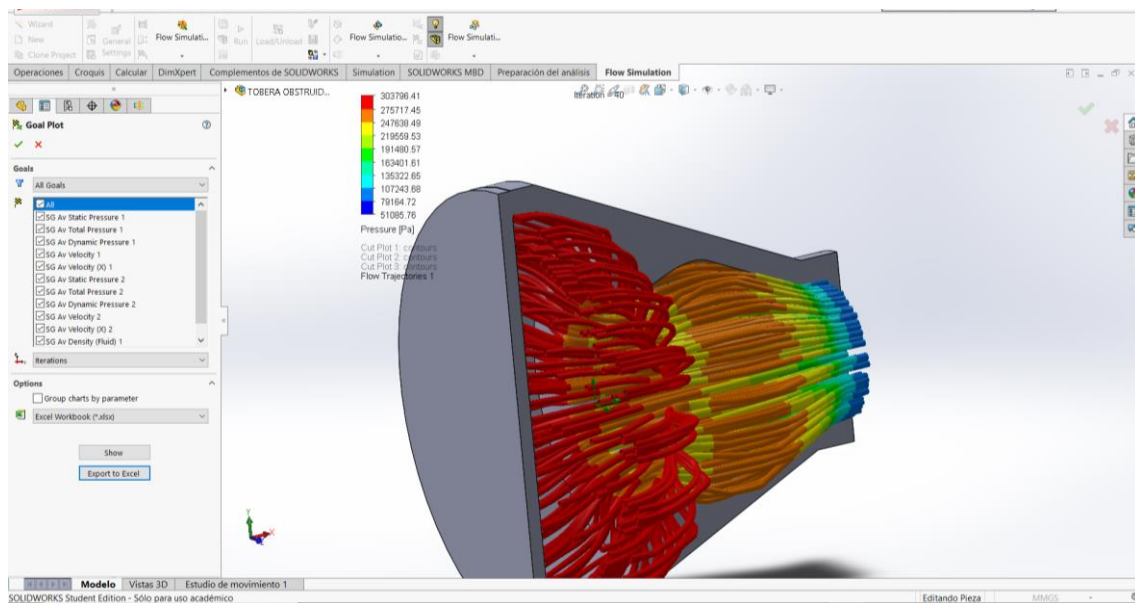


Figura 8: Simulación de partículas en forma de tuberías para analizar las trayectorias de flujo del fluido. A su vez, se han combinado las tuberías con un campo escalar de presiones (color).

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
SG Av Static Pressure 1	[Pa]	301325	301325	301325	301325	100	Yes	5,82077E-11	0,00301325
SG Av Total Pressure 1	[Pa]	303756,7511	303667,5268	303432,0561	303756,8863	100	Yes	324,8302282	359,0160048
SG Av Dynamic Pressure 1	[Pa]	2431,751102	2342,526776	2107,056059	2431,886287	100	Yes	324,8302282	359,0160048
SG Av Velocity 1	[m/s]	2,032019632	1,99815543	1,912494185	2,032019632	100	Yes	0,119525446	0,265584883
SG Av Velocity (X) 1	[m/s]	2,032019632	1,99815543	1,912494185	2,032019632	100	Yes	0,119525446	0,265584883
SG Av Static Pressure 2	[Pa]	101325	101325	101325	101325	100	Yes	0	0,00101325
SG Av Total Pressure 2	[Pa]	274839,3007	270032,6454	258103,9403	274895,6425	100	Yes	16791,7022	25577,40845
SG Av Dynamic Pressure 2	[Pa]	173514,3007	168707,6454	156778,9403	173570,6425	100	Yes	16791,7022	25577,40845
SG Av Velocity 2	[m/s]	18,55752574	18,25866718	17,49943139	18,56019512	100	Yes	1,060763727	2,426865702
SG Av Velocity (X) 2	[m/s]	18,51839252	18,20895442	17,42686529	18,52158904	100	Yes	1,09472375	2,421161311
SG Av Density (Fluid) 1	[kg/m^3]	997,5617393	997,5617393	997,5617393	997,5617393	100	Yes	2,27374E-13	9,97562E-06
SG Av Density (Fluid) 2	[kg/m^3]	997,5608936	997,5608862	997,5608025	997,5612129	100	Yes	0,000410417	0,000961996

Iterations []: 40
Analysis interval: 20

Figura 9: Resultados numéricos generados por el programa en formato .xml, necesarios para que los alumnos elaboren el informe y los comparen con los resultados teóricos.

2.3. Fase de ejecución de las actividades propuestas en mecánica de fluidos

En esta fase se llevarán a cabo las prácticas de simulación diseñadas en la fase anterior con los alumnos.

A su vez en esta fase se diseñarán los instrumentos para la medida del rendimiento de la actividad y de la percepción del alumnado sobre las mismas en base a un formulario anónimo a cumplimentar online desde el ordenador o desde el smartphone. Dicho formulario que fue realizado en base a escala Likert, se puede consultar en el siguiente link². El cuestionario buscaba dar respuesta a los ítems indicados en la tabla 1.

Tabla 1: Ítems a medir con las encuestas.

	Descripción
Conocimientos previos	Experiencias anteriores que el alumno pudiera tener en el manejo del software utilizado para la simulación de fluidos
Usabilidad	Percepción del alumno sobre el grado de complejidad del manejo
Aprendizaje	Percepción del alumno sobre el grado de aprendizaje adquirido con el programa y la complementariedad de las actividades de simulación con respecto al resto de actividades desarrolladas en cada asignatura
Escalabilidad	Percepción del alumno sobre la aplicación de metodologías similares en otras asignaturas de la titulación.
Motivación	Percepción del alumno sobre el hecho de que la actividad haya supuesto un elemento motivador para el estudio de la asignatura y para el emprendimiento de trabajos o actividades futuras en el ámbito de la simulación en mecánica de fluidos.

2.4. Procesamiento de datos

En esta fase se han analizado los datos cuantitativos y cualitativos recopilados con los instrumentos utilizados en las fases anteriores. Los primeros resultados sobre una muestra de 60 alumnos tomados tras la realización de la práctica de la tobera se muestran a continuación. Sobre los resultados brutos se está trabajando actualmente en su procesamiento estadístico con el objeto de divulgar el trabajo en revistas científicas, dada la significatividad de los resultados.

¿Has utilizado anteriormente alguna herramienta CFD?

59 respuestas

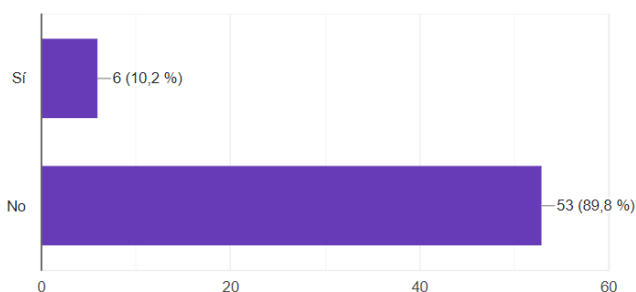


Figura 10: Resultados de la pregunta sobre los antecedentes en la que se puede apreciar que la mayoría de los alumnos no había utilizado anteriormente herramientas CFD.

Considero que la práctica con el software CFD ha sido satisfactoria

59 respuestas

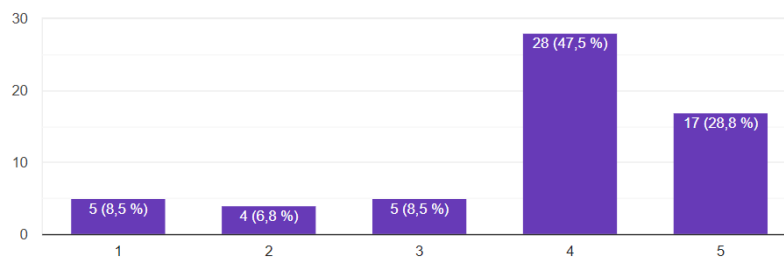


Figura 11: Resultados de la pregunta para evaluar la percepción de la actividad por parte de los alumnos. Como puede verse para la mayoría la actividad ha resultado satisfactoria.

Creo que es una buena práctica explicar el uso de las herramientas CFD en la carrera

59 respuestas

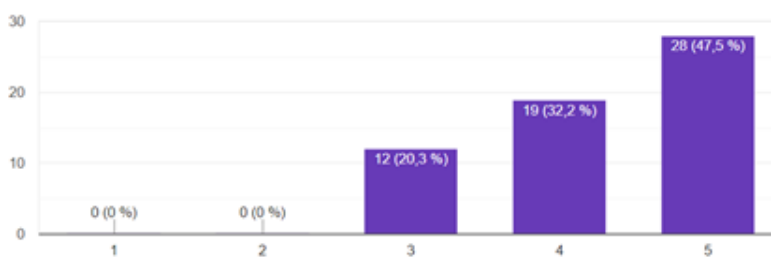


Figura 12: Resultados de la pregunta para evaluar la percepción de la actividad por parte de los alumnos. Como puede verse para la mayoría la actividad considera que ha sido una buena práctica.

Esta práctica me ha servido para afianzar los conocimientos teóricos impartidos en clase

59 respuestas

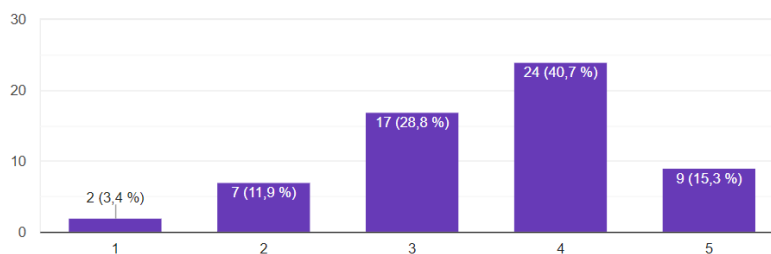


Figura 13: Resultados de la pregunta para evaluar la percepción de la actividad por parte de los alumnos. Como puede verse para la mayoría la actividad considera que la actividad le ha servido para afianzar los conocimientos teóricos.

Como se puede observar en las estadísticas (Fig. 10), los alumnos no tenían experiencia previa en el uso de herramientas CFD y para la mayoría la experiencia ha sido satisfactoria (Fig. 11). A su vez, ven este tipo de actividades como buena práctica en el aula (Fig. 12) y afirman que les ha servido para afianzar los conocimientos teóricos impartidos en clase (Fig. 13). Dichos datos son coherentes con la observación de los profesores durante la actividad, en la cual se pudo apreciar la buena acogida por parte de los alumnos de este tipo de actividades y el entusiasmo con el que realizaban las tareas de la actividad y descubrían un tipo de aplicación de simulación de uso profesional que el 90 % desconocía.

2.5. Reflexión sobre la experiencia, extracción de conclusiones

En base a las experiencias de los docentes en el aula, así como la información cuantitativa y cualitativa recopilada después y durante la implementación de la innovación, se ha realizado un análisis crítico de la situación y se establecerán las siguientes conclusiones:

- La respuesta del alumnado ha sido satisfactoria, tal como se muestra en los resultados de los cuestionarios y tal como los profesores han percibido durante la actividad.
- La percepción del profesorado que ha realizado la actividad ha sido favorable, siendo testigo de la motivación del alumnado al realizar una actividad nueva, que no habían realizado hasta el momento y que se utiliza a nivel avanzado en el ámbito profesional.
- Se implementó la práctica en un tiempo de 4 horas por grupo, sin necesidad de una formación específica previa sobre el manejo del programa, siendo ello consecuencia de la elección adecuada del software, puesto que con otras aplicaciones (como Ansys® o OpemFoam®) no se hubiera podido realizar en un periodo tan corto de tiempo ni sin una fase previa de training en el uso del software.
- La actividad ha servido para mejorar la dotación de las aulas de la ETSII de Béjar, puesto que ahora están equipadas con un paquete profesional como Solidwork®, de aplicación en numerosas asignaturas y cuyo coste educacional es superior a 3000 €.
- La actividad ha despertado el interés de alumnos para aplicar la tecnología CFD en sus trabajos fin de grado y fin de máster. A tal efecto, a día de hoy los profesores

encargados de este proyecto están dirigiendo 3 trabajos fin de grado y 1 trabajo fin de máster en los que se utiliza el software adquirido.

- La actividad ha sentado las bases para nuevos proyectos en los que se pueda realizar la expansión vertical (a distintos niveles de estudios) u horizontal (con distintas propuestas prácticas).

3. Difusión de resultados:

El proyecto se planteó con miras hacia la divulgación de resultados debido al potencial interés que los resultados pudieran tener para la comunidad científica. Es por ello que sobre este particular se está trabajando en las siguientes líneas.

- La propuesta metodológica se ha remitido para evaluación al congreso internacional: *Internacional Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, congreso que se celebrará del 16 al 18 de octubre en León (<https://2019.teemconference.eu/>) bajo la comunicación titulada: “*Short simulation activity to improve the competences in the Fluid-mechanical Engineering classroom using Solidworks ® Flow Simulation*”
- Los guiones diseñados para la práctica se harán públicos previsiblemente en el repositorio institucional Gredos.
- Se está actualmente trabajando en la redacción de un artículo de investigación para ser enviado a una revista indexada del ámbito de la educación en ingeniería.
- Se prevé como trabajo futuro el diseño de actividades basadas en CFD para la impartición de otros programas / asignaturas, así como nuevas prácticas que amplíen el espectro de conceptos teóricos a abordar utilizando la metodología propuesta para conceptos concretos de difícil comprensión.

4. Conclusiones finales

Se ha pretendido diseñar una metodología basada en una actividad de simulación que fuera implementable en un tiempo corto para, de esta forma, posibilitar la integración de

la misma dentro de la programación de las asignaturas de Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. A fin de lograr dicho objetivo, se procedió a la elección de la aplicación más adecuada en base a diferentes alternativas de software CFD. El software elegido fue Solidworks ® pues su módulo Flow Simulation permite una rápida simulación aprovechando la geometría procedente del modelado paramétrico realizado con el mismo software. Asimismo, dicho software presenta una alta utilidad para los alumnos por la gran extensión dentro del ámbito profesional de la ingeniería. Seguidamente se procedió al diseño de la actividad bajo criterios específicos de calidad, economía y adecuación a la realidad con arreglo a los precedentes de la literatura. La metodología diseñada combina una explicación breve por parte del profesor, una actividad de simulación realizada a la vez por el profesor y los alumnos y, finalmente, una actividad de trabajo autónomo para que los alumnos apliquen los procesos aprendidos por sí mismo y los resultados sean plasmados en un informe que será evaluado. El rendimiento de la actividad en términos de usabilidad, escalabilidad, percepción de aprendizaje y motivación fue evaluado después de la actividad, mostrando unos resultados satisfactorios que animan a seguir planteando iniciativas de este tipo en el futuro, tanto a nivel de extensión horizontal (nuevas actividades de simulación en las asignaturas planteadas), como a nivel vertical (extensión de dicha metodología a otras posibles asignaturas con gran carga analítica y susceptibles de contemplar actividades de simulación).